



*Incident
survenu le 23 août 1998
à Paris Charles de Gaulle (95)
au BAe 146
immatriculé F-GOMA
exploité par AIRJET*

RAPPORT
f-ma980823

A V E R T I S S E M E N T

Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet incident.

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et à la Loi n° 99-243 du 29 mars 1999, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de l'événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Table des matières

AVERTISSEMENT	2
SYNOPSIS	4
ORGANISATION DE L'ENQUETE	5
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	6
1.1 Déroulement du vol	6
1.2 Dommages à l'aéronef	6
1.3 Autres dommages	6
1.4 Renseignements sur le personnel	6
1.4.1 Commandant de bord	6
1.4.2 Copilote	7
1.5 Renseignements sur l'aéronef	7
1.5.1 Description générale	7
1.5.2 Fonctionnement du trim	8
1.6 Aides à la navigation	9
1.7 Enregistreurs de bord	9
1.8 Témoignage	9
1.9 Essais et recherches	10
1.9.1 Chaîne du trim électrique	10
1.9.2 Interrupteurs du trim électrique	11
1.9.3 Câblages	12
1.10 Renseignements supplémentaires : incident du 4 mai 2000	12
2 – ANALYSE	13
2.1 Constat de la position du trim au sol	13
2.2 Test de maintenance au sol du pilote automatique	13
2.3 Déroulement du trim à 200 pieds	13
2.3.1 Vitesse du déroulement	13
2.3.2 Mode de déroulement	14
2.4 Actions de l'équipage	14
3 - CONCLUSIONS	15
3.1 Faits établis par l'enquête	15
3.2 Cause probable	15
LISTE DES ANNEXES	16

SYNOPSIS

Date de l'incident

Le 23 août 1998

Aéronef

British Aerospace BAe 146
Immatriculé F-GOMA

Lieu de l'incident

Aéroport Paris Charles de Gaulle

Propriétaire

Bail Equipement

Nature du vol

Vol technique Bruxelles-Paris

Exploitant

AIRJET

Personnes à bord

Personnel Navigant Technique : 2

Résumé :

En approche finale à Paris Charles de Gaulle, à une hauteur de 200 pieds, le commandant de bord ressent un effort à cabrer sur le manche. Il demande l'aide du copilote pour poser l'appareil. Après l'atterrissement, l'équipage constate la position du trim en butée à cabrer.

	Personnes			Matériel	Tiers
	Tué(s)	Blessé(s)	Indemne(s)		
Equipe	0	0	2		
Passagers	0	0	0	Néant	Néant

ORGANISATION DE L'ENQUETE

L'incident s'est produit le 23 août 1998 lors de l'atterrissement à Paris Charles De Gaulle. Après l'incident, l'exploitant a procédé à des tests de maintenance sur le pilote automatique au sol. Seul l'enregistreur de paramètres a été déposé et l'avion a revolé pour un vol technique.

Les équipements de la chaîne du trim ont ensuite été déposés et remplacés. Le BEA n'a été notifié de l'incident que quelques jours plus tard. A ce moment, l'enregistreur phonique ne contenait plus d'information relative au vol de l'incident.

Les éléments constituant la chaîne de commande du trim ont été pour l'essentiel examinés en Grande Bretagne chez Smiths Industries, en présence des enquêteurs techniques.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le 23 août 1998, au départ de Bruxelles pour un vol de convoyage, au parking, le copilote constate, lors de la check-list avant mise en route, que le trim de profondeur est en butée à cabrer. Il le remet manuellement au neutre.

Le commandant de bord est pilote en fonction. Le vol se déroule normalement. A l'arrivée à Paris Charles de Gaulle, passant environ 6 000 pieds, le pilote automatique est déconnecté. A deux cents pieds, l'appareil prend une attitude à cabrer, le commandant de bord demande l'aide du copilote pour poser l'appareil. L'effort sur le manche relâché après le toucher des roues, l'avion reprend une attitude à cabrer et effectue un léger rebond immédiatement contrôlé par le commandant de bord. Après l'atterrissement l'équipage constate que le trim de profondeur est en butée à cabrer.

A la suite de cet événement, l'exploitant a décidé de procéder à des tests de maintenance concernant le système du pilote automatique. L'équipe de maintenance indique avoir reproduit la panne en constatant, lors de la connexion du pilote automatique au sol, que le trim se déroulait de la position neutre vers la butée à cabrer.

L'exploitant a ensuite déposé la chaîne de fonctionnement du pilote automatique.

1.2 Dommages à l'aéronef

Il n'y a eu aucun dommage à l'aéronef.

1.3 Autres dommages

Il n'y a eu aucun dommage aux tiers.

1.4 Renseignements sur le personnel

1.4.1 Commandant de bord

Homme, 57 ans.

Titres aéronautiques :

- Brevet de pilote de ligne n° 3186 du 29 septembre 1987, licence correspondante valide jusqu'au 30 décembre 1999.

- Aucune restriction médicale.
- Qualification de type BAe 146 du 7 avril 1988.

Expérience professionnelle avant le jour de l'incident :

- Total : 15 202 heures de vol
- Dans les 90 derniers jours: 188 heures de vol
- Dans les 30 derniers jours : 76 heures de vol

1.4.2 Copilote

Homme, 28 ans.

Titres aéronautiques :

- Brevet de pilote professionnel n° 1546592 du 27 octobre 1992, licence correspondante valide jusqu'au 31 janvier 2000.
- Aucune restriction médicale.
- Formation au travail en équipage du 28 novembre 1997.
- Qualifications de type BAe 146, BE90, B737 et C340/335

Expérience professionnelle avant le jour de l'incident :

- Total : 1 599 heures de vol
- Dans les 90 derniers jours : 166 heures de vol
- Dans les 30 derniers jours : 59 heures de vol
- Nombre d'heures sur type : 198 heures de vol

1.5 Renseignements sur l'aéronef

1.5.1 Description générale

Le BAe-146 est un avion quadrimoteur à aile haute. Ses performances le dédient aux atterrissages et décollages courts. Il dispose d'un plan horizontal fixe muni d'une surface de trim mobile.

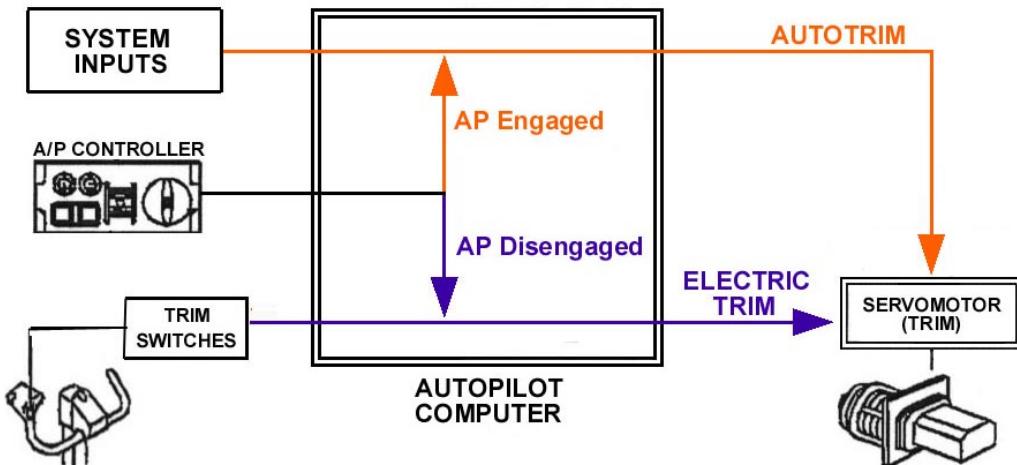
Cellule

- Constructeur : British Aerospace
- Type : BAe 146-200 QC
- N° de série : 2211

Moteurs

- Nombre de moteurs : 4
- Constructeur : LYCOMING
- Type : ALF-502R-5

1.5.2 Fonctionnement du trim



PITCH TRIM SYSTEM SYNOPSIS

Le schéma ci-dessus est extrait du schéma plus général fourni en annexe 3 qui décrit l'architecture du système du pilote automatique.

Le trim de profondeur est actionné mécaniquement par un servo moteur. Celui-ci reçoit deux types d'ordres de la part du calculateur du pilote automatique :

- d'une part, la commande d'embrayage du servo moteur qui rend solidaire son axe de rotation avec la transmission mécanique de rotation de la surface,
- d'autre part, la valeur commandée de la rotation de la surface.

En outre, la vitesse de rotation du moteur du vérin est commandée électriquement à travers un amplificateur (Autopilot Servo Amplifier), en fonction de la position des volets. Cette vitesse varie autour de $0,35^\circ$ par seconde en pilotage automatique et $1,1^\circ$ par seconde en trim électrique.

En résumé, il existe deux modes de commande du trim :

- Lorsque le pilote automatique est actif, l'AUTOPILOT COMPUTER génère des commandes de trim lorsqu'un effort est détecté sur le vérin de commande de la profondeur. On est en mode AUTOTRIM et le taux de rotation de la surface est de $0,35^\circ$ par seconde.
- Lorsque le pilote automatique n'est pas en fonction, l'embrayage du trim est automatiquement relâché et le volant de trim en cockpit agit par action mécanique directe sur l'axe de rotation de la surface. Le trim peut également être commandé à partir de deux boutons sur le manche (trim switches). L'un sert à embrayer le servo moteur, l'autre à commander la rotation de la surface au taux de $1,1^\circ$ par seconde.

Remarque : il n'y a pas de « wholer » (alarme couplée à un déplacement de trim) sur cet avion.

1.6 Aides à la navigation

L'équipage effectuait une procédure localizer en piste 28.

1.7 Enregistreurs de bord

L'enregistrement des conversations n'a pas été disponible pour l'enquête, l'avion ayant revolé après l'incident sans que l'enregistreur soit déposé.

L'enregistreur de paramètres de marque PLESSEY (P/N : 650.1-14040.112 et S/N 10045) n'était pas exploitable en France. Il a donc été relu sans ouverture au laboratoire de l'Air Accident Investigation Branch (AAIB) au Royaume-Uni, en présence de deux enquêteurs du BEA.

Les données du vol de l'incident étaient exploitables et des graphes et listages des paramètres pertinents figurent en annexe 1.

Le mouvement du trim est observable sur le paramètre « elevator trim ». Il dure 27 secondes pour un déplacement de 30°, ce qui correspond à un taux de rotation sur la surface de 1,1° par seconde. Il commence à deux cents pieds et se prolonge jusqu'au sol.

1.8 Témoignage

Après l'incident, le commandant de bord a déposé le rapport suivant à sa compagnie :

« En courte finale à 200 pieds, AP déconnecté [...], les actions effectuées en profondeur n'ont pas les effets désirés. Je constate que le manche prend une position « fort avant ». Pour maintenir le plan de descente il faut l'aide physique du copilote pour faire descendre l'avion et effectuer l'arrondi. Au toucher, la pression sur le manche étant relâchée, l'avion reprend une assiette à cabrer et effectue un léger rebond contrôlé par le commandant de bord. Check list effectuée après l'atterrissement. Le copilote constate l'indicateur « trim profondeur » en butée « nose up » cabré. »

D'un entretien avec lui, il résulte ce qui suit :

- L'avion sortait de maintenance lorsque l'équipage l'a pris au parking à Bruxelles. Le trim était en butée à cabrer.
- Le vol retour sur Paris Charles de Gaulle était un vol technique, sans fret. L'avion était donc léger.
- Il n'y a eu aucune anomalie durant tout le trajet jusqu'à l'approche en piste 28.

- A 200 pieds, le commandant de bord, en pilotage manuel, a eu besoin de pousser sur le manche et de l'aide du copilote pour maintenir le plan de descente. Il n'a pas vu le volant du trim se dérouler et n'a pas eu d'action sur le trim à piquer pour contrer la tendance de l'appareil à cabrer.
- Il précise qu'il n'a pas envisagé de remise de gaz, dans la mesure où il sentait qu'il y avait potentiellement un problème de contrôle en tangage et qu'une remise de gaz aurait pu être dangereuse dans cette situation.
- Il ne se souvient plus si l'effort à exercer était constant.
- De plus, il indique que la technique de pilotage habituel sur ce type d'avion est, lorsque l'on est trop haut sur le plan – ce n'était pas le cas le jour de l'événement - d'utiliser uniquement les aérofreins et que l'arrondi s'effectue généralement au trim.

1.9 Essais et recherches

Le BEA a fait examiner les éléments constituant la chaîne de commande du trim.

1.9.1 Chaîne du trim électrique

Les trois éléments constituant la chaîne de fonctionnement du trim électrique ont été expertisés chez leur constructeur, Smith Industries, implanté à Cheltenham (G.B.). Ces éléments sont : l'Auto Pilot Computer, l'Auto Pilot Control and Engage et le Servo Actuator.

1.9.1.1 Principe de l'expertise

L'examen des trois éléments a eu lieu simultanément. L'objectif de l'expertise était de rechercher les conditions pouvant déclencher un déroulement du trim électrique.

L'architecture du système du trim électrique impose deux conditions simultanées et logiques pour obtenir un mouvement de la gouverne de trim, ces deux conditions étant indépendantes :

1^{ère} condition

Il faut que l'embrayage (clutch) du vérin (servo actuator) soit mis sous tension pour que la commande du vérin puisse s'appliquer sur l'axe de déroulement des surfaces. Cette condition ne peut être remplie que dans deux cas, soit par une commande manuelle sur l'interrupteur du trim (sur le manche), soit, sous pilote automatique, lorsque deux relais couplés de l'Auto Pilot Controller sont connectés.

2^{ème} condition

Il faut que l'Auto Pilot Computer envoie un signal de commande sur le mo-

teur du vérin pour piloter la demande en rotation. Cette condition ne peut être remplie que dans deux cas, soit par commande manuelle sur le second interrupteur du trim (sur le manche), soit, sous pilote automatique (mode AUTOTRIM) lorsque celui-ci effectue une correction d'écart.

1.9.1.2 Déroulement de l'expertise

Après inspection visuelle, les trois éléments ont subi des tests de fonctionnement dans les deux modes manuel et automatique. Ces tests sont en accord avec les spécifications, et aucun déroulement intempestif du trim n'a été constaté, que ce soit dans la configuration de l'incident (pilotage manuel) ou dans le mode AUTOTRIM.

De plus, chaque élément a été démonté et inspecté. Aucune anomalie n'a été observée.

1.9.1.3 Etude globale d'une panne intermittente potentielle

Pour les besoins de l'enquête et après expertise des éléments, Smith Industries a réalisé une étude concernant la possibilité d'une panne intermittente touchant le système du trim.

Cette étude montre qu'il est impossible d'avoir une défaillance simple qui conduirait à deux effets simultanés sur deux circuits différents, à savoir :

- Mise sous tension de l'embrayage du servo moteur.
- Commande de mouvement en rotation.

1.9.2 Interrupteurs du trim électrique

Les éléments directement liés au fonctionnement du trim n'ayant pas révélé de dysfonctionnements, l'étude s'est ensuite portée sur les contacts électriques permettant d'actionner le trim manuellement. En particulier, les interrupteurs ont été examinés.

Ces interrupteurs, de marque Mason Electric (référence 306-4313), numéros de série 0602 & 0627, ont été examinés chez leur constructeur.

L'examen a porté sur les points suivants :

- vérification des pressions de référence sur les interrupteurs pour activer le signal,
- recherche de contamination par présence de corps étranger,
- recherche de court-circuits potentiels,
- recherche de câblage défectueux,
- analyse de la sécurité des parties internes, en particulier les contacts.

Aucune de ces recherches n'a montré de dysfonctionnements par rapport aux spécifications nominales.

1.9.3 Câblages

La vérification de l'ensemble du câblage électrique de la chaîne du trim électrique a enfin été effectuée sur l'avion lui-même. Cette vérification des connections pour chaque câble lié au système du trim a été effectuée à Paris Charles de Gaulle par une équipe de British Aerospace.

Aucune anomalie n'a été relevée. Le câblage du système de trim sur l'appareil était nominal.

1.10 Renseignements supplémentaires : incident du 4 mai 2000

Il est à noter que le 4 mai 2000 un événement sur un appareil de même type a été notifié par la même compagnie. L'analyse des données de vol a montré que le mouvement de trim constaté lors du vol correspondait à un comportement normal du pilote automatique. L'annexe 2 fait une synthèse de cet événement.

2 – ANALYSE

2.1 Constat de la position du trim au sol

Après son problème de trim en approche, l'équipage s'est souvenu qu'il avait trouvé le trim en butée à cabrer à Bruxelles. Il a rapproché son constat de l'événement qu'il venait de vivre.

Cependant, les données de l'enregistreur de paramètres ne confirment pas cette observation. En effet, l'enregistreur de paramètres n'a pas enregistré de position de trim en butée à cabrer pendant le temps où l'appareil était sous tension au parking à Bruxelles.

Il est donc possible le trim ait été remis au neutre avant mise sous tension. Ceci est plausible car d'une part, les vérifications de prise en compte lorsqu'un équipage arrive en poste se font hors tension, et d'autre part, l'avion sortant de maintenance, toutes les commandes ont pu être déplacées.

2.2 Test de maintenance au sol du pilote automatique

Après l'incident, l'équipe de maintenance a procédé à des tests du pilote automatique au sol. Les rapports de maintenance ne mentionnent pas d'anomalie particulière. Cependant l'exploitant a indiqué que ces tests avaient permis de constater un déroulement du trim.

Le déroulement à cabrer du trim au sol est explicable. En effet, au sol la gouverne de profondeur au repos est en butée à piquer. Si le pilote automatique est activé, par exemple pour un test de maintenance au sol, il va contrer cet effet en déroulant le trim à cabrer, et ce, jusqu'en butée.

2.3 Déroulement du trim à 200 pieds

2.3.1 Vitesse du déroulement

Comme vu au paragraphe 1.5, le pilote automatique commande le trim avec un taux d'environ $0,35^\circ$ par seconde alors qu'en mode manuel les interrupteurs du manche le commandent au taux d'environ $1,1^\circ$ par seconde.

Pour l'événement, le taux calculé à partir des paramètres enregistrés montre un taux proche de $1,1^\circ$ par seconde.

2.3.2 Mode de déroulement

Il ressort du paragraphe précédent que le déroulement de trim a été commandé manuellement ou qu'il a été commandé par le pilote automatique mais dans ce cas, à une vitesse différente de celle de l'AUTOTRIM et proche de celle du trim électrique.

Il est établi que lors de l'arrivée à Paris, le pilote automatique a été déconnecté à 6 000 pieds, l'approche étant effectuée en pilotage manuel.

L'hypothèse d'une reconnexion du pilote automatique est à écarter, puisque l'enregistreur de paramètres n'a pas enregistré de changement de statut du paramètre « auto-pilot engaged ». De plus, la reconnexion du pilote automatique n'aurait pas eu pour effet de dérouler le trim à cabrer dans cette phase de vol stabilisée.

L'hypothèse de l'action manuelle volontaire sur les trim switch, tout en étant techniquement acceptable, reste d'un point de vue pilotage une action incompatible avec la phase de vol. En effet, lorsque l'équipage a senti l'effet à cabrer de l'avion, en courte finale, il a poussé sur le manche, et le commandant de bord a même sollicité l'aide du copilote. Il aurait donc fallu deux actions antagonistes, pousser sur le manche, et maintenir une pression constante à cabrer (switch vers le bas pendant environ trente secondes).

Cette action a donc été involontaire.

2.4 Actions de l'équipage

L'équipage, dont l'attention en courte finale était essentiellement portée sur la piste, n'a pas perçu le mouvement du volant de trim ; l'absence de whooler n'a pas permis de l'alerter. Lorsque l'effet à cabrer s'est fait sentir, il a donc été pris au dépourvu.

Si près du sol, et avec un possible problème de commandes de vol, le commandant de bord n'a pas voulu prendre de risques. Sa priorité a été de poser l'avion et il s'est alors borné à essayer de maintenir le plan de descente, sans rechercher l'origine du problème. Le copilote, sollicité physiquement pour maintenir le plan de descente, n'a pas pu non plus procéder à cette recherche.

C'est seulement après avoir posé l'appareil que l'équipage a constaté la position du trim en butée à cabrer et a compris l'origine du comportement de l'avion.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'aéronef était certifié conformément à la réglementation en vigueur.
- L'équipage détenait les brevets, licences et qualifications nécessaires à l'accomplissement du vol.
- L'équipage effectuait une approche Localizer en pilotage manuel sur la piste 28 à Paris Charles de Gaulle.
- Le trim s'est déroulé à vitesse constante jusqu'en butée à cabrer lorsque l'appareil était en courte finale.
- La vitesse de déroulement du trim correspond à un déroulement de trim électrique.
- L'examen de toute la chaîne du trim électrique n'a pas mis en évidence de dysfonctionnement ou de panne intermittente.

3.2 Cause probable

L'événement est dû à une position hors trim de l'avion en courte finale rendant son pilotage difficile. Cette position hors trim paraît résulter d'une action involontaire du commandant de bord sur les interrupteurs du trim électrique pendant la phase d'arrondi.

Liste des annexes

ANNEXE 1

Graphes établis à partir des paramètres enregistrés

ANNEXE 2

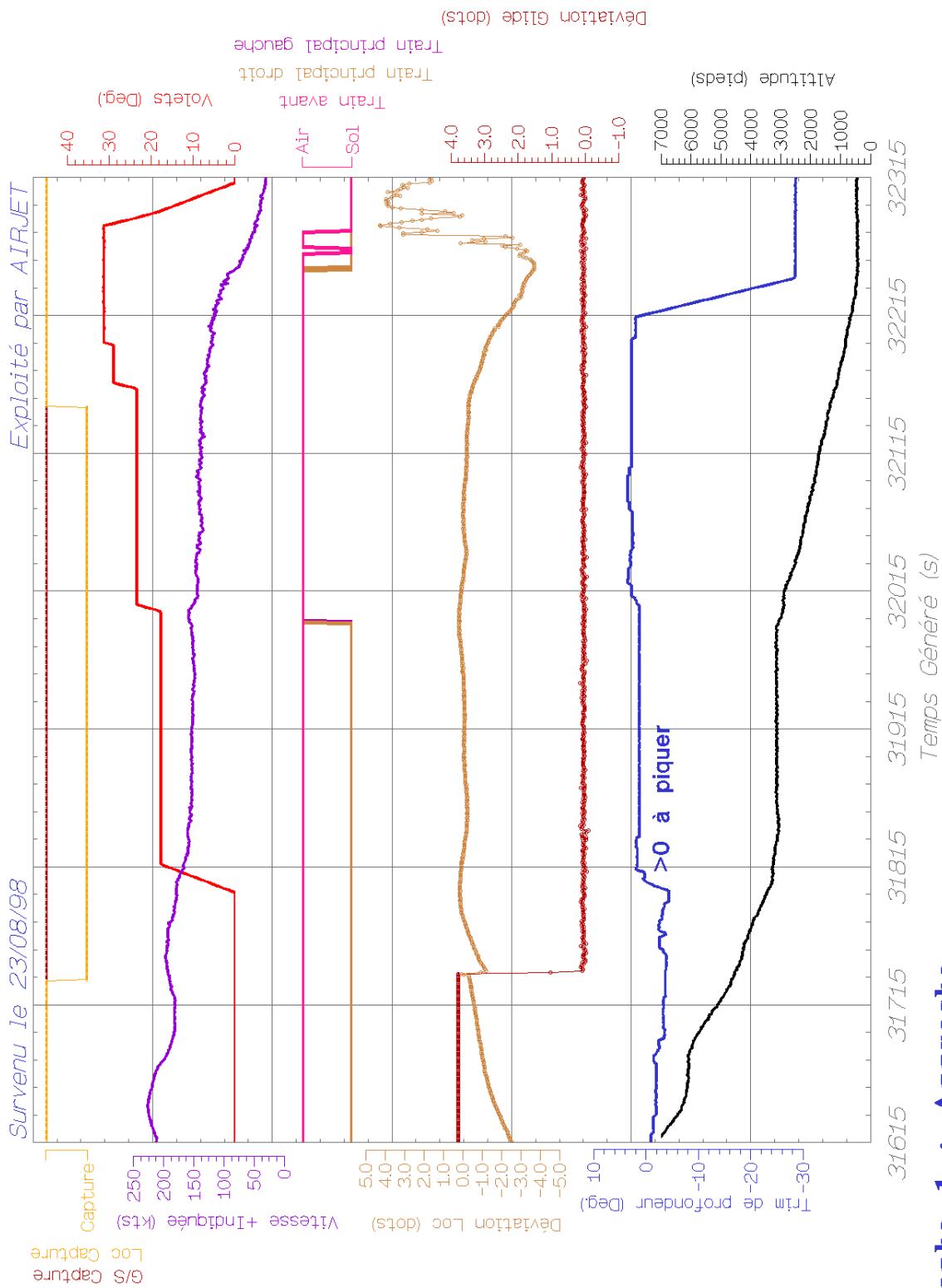
Synthèse de l'événement du 4 mai 2000

ANNEXE 3

Schéma du système du pilote automatique

Baе 146 F-GOMA

Survenu le 23/08/98

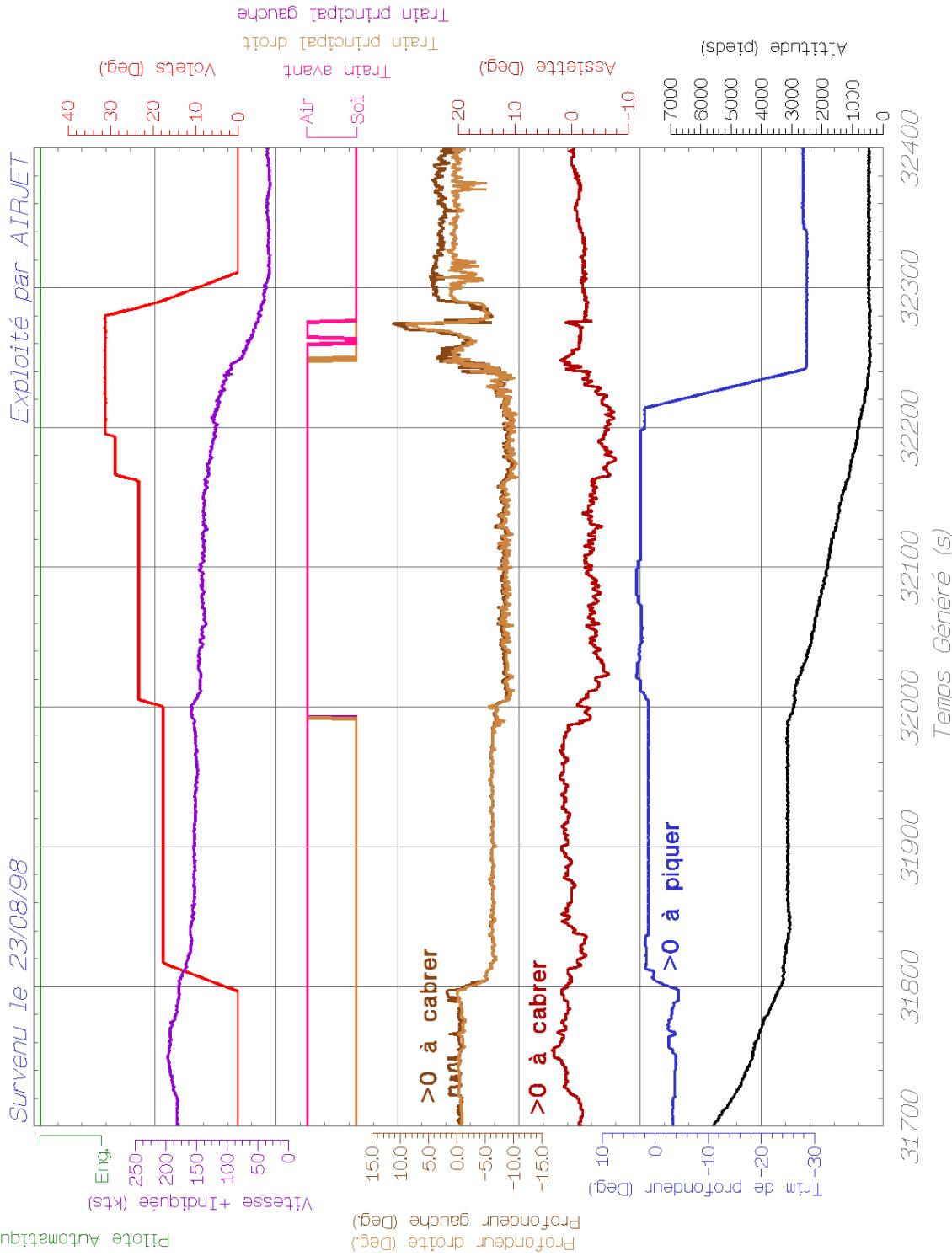


Graph 1 : Approche

8 Février 2001

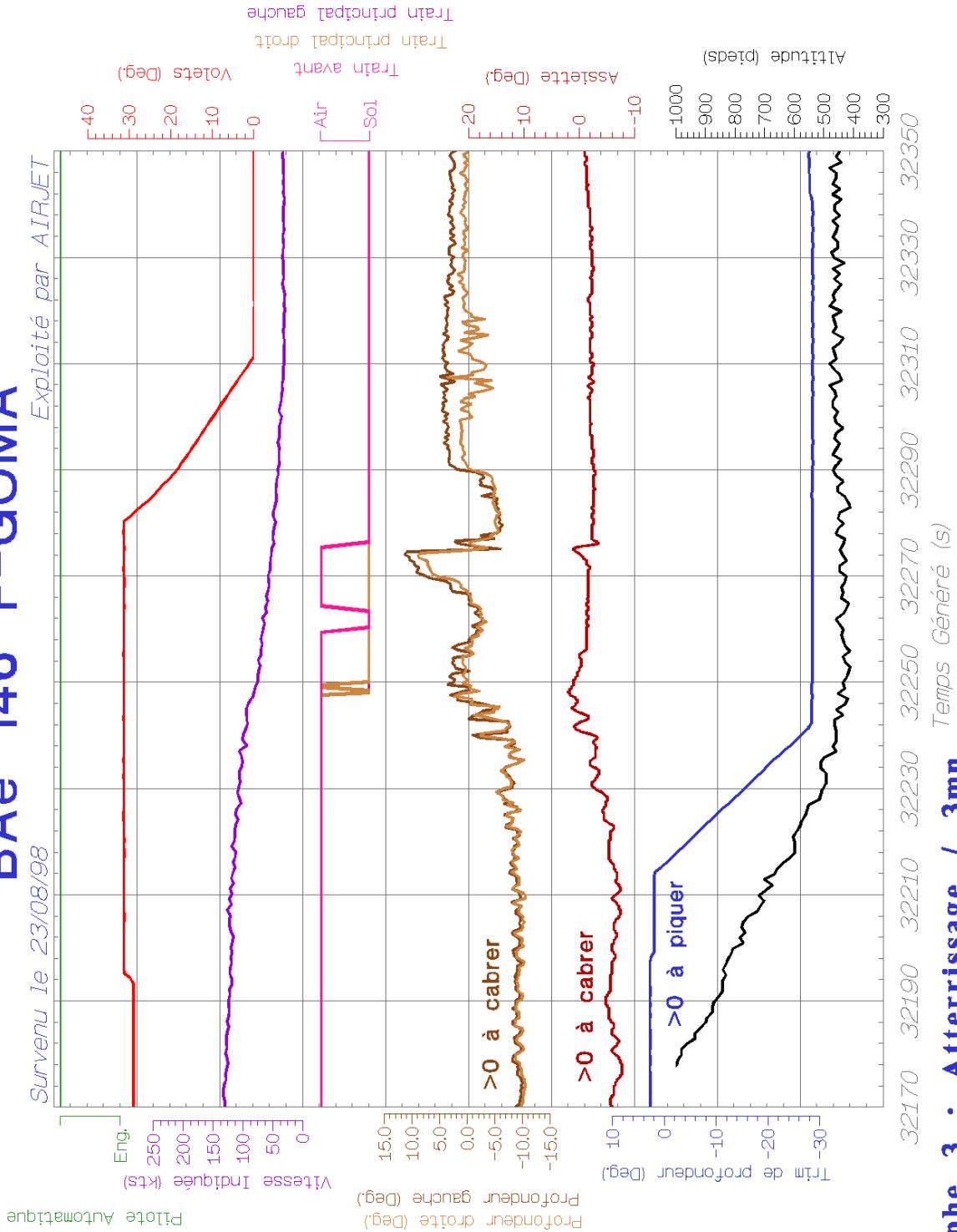
Laboratoires du B.E.A.

Baе 146 F-GOMA



Bae 146 F-GOMA

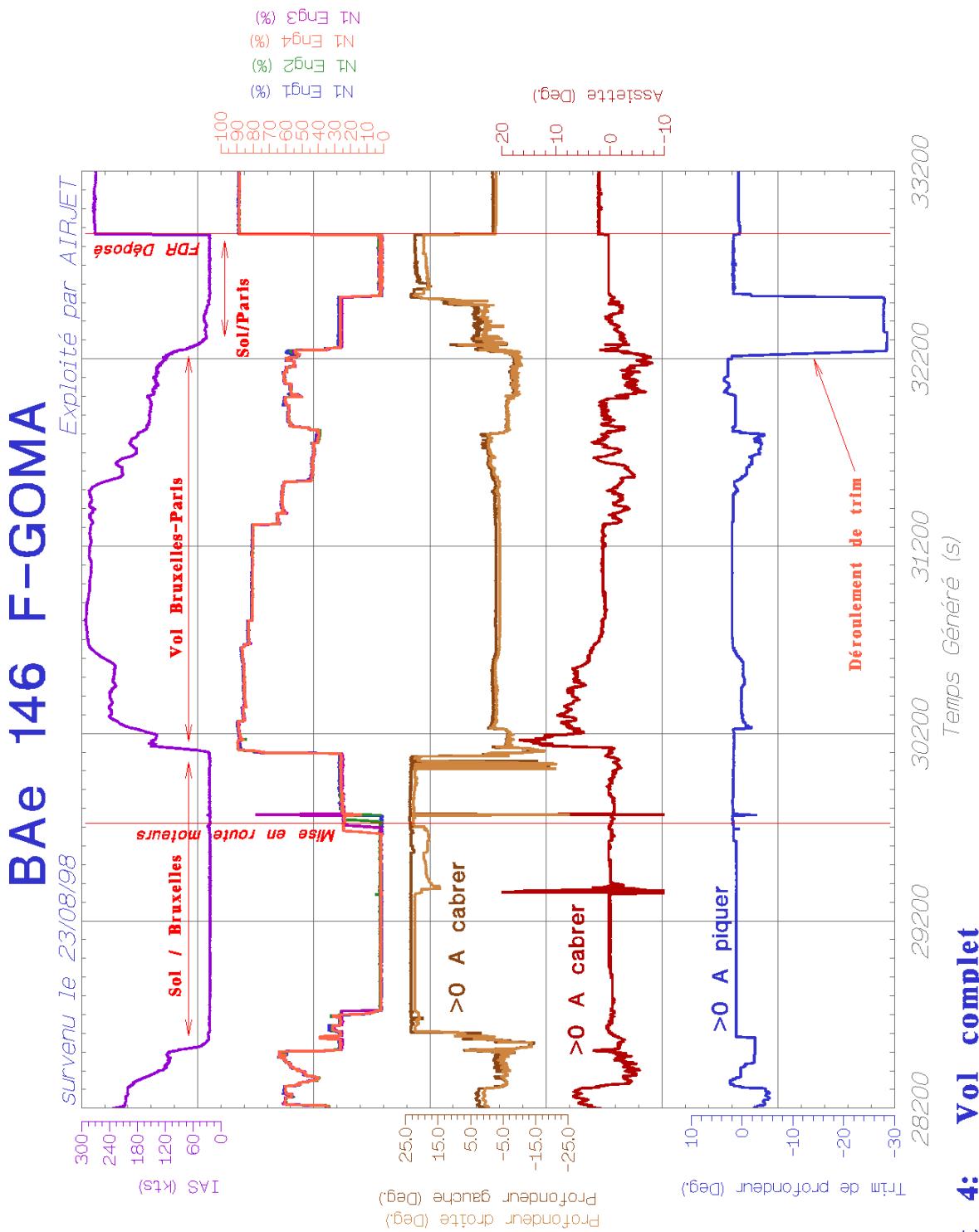
Survenu le 23/08/98



Graphe 3 : Atterrissage / 3mn

8 Février 2001

Laboratoires du BEA



Laboratoires du B.E.A.

7 Mars 2001

Plot 4: Vol complet

Synthèse de l'événement du 4 Mai 2000

Le 4 mai 2000, un incident sur un Bae 146 (immatriculé F-GMMP) a été notifié au BEA par AIRJET. Cet événement apparaissait comme similaire à celui du 23 août 1998.

Témoignage de l'équipage

Au décollage de London City Airport, le commandant de bord, pilote en fonction, rapporte qu'étant en pilotage manuel, et après la rentrée des volets, il détecte une alarme « elevator trim ». L'appareil ayant tendance à cabrer, le commandant de bord agit à piquer sur la gouverne de profondeur. Il constate alors un déroulement du trim à cabrer. Le copilote bloque alors le volant du trim, et tire le breaker associé au trim.

L'équipage témoigne avoir subi plusieurs fois l'événement au cours du vol, en tentant de ré-enclencher le breaker. Le dernier événement se serait produit en approche à Paris Charles de Gaulle, mais l'équipage ne se souvient plus dans quelle configuration.

Analyse des données QAR

L'enregistreur QAR a été exploité. Il apparaît que le paramètre « elevator trim » était mal enregistré, et était donc indisponible pour l'enquête (remarque : l'enquête a permis de montrer que ce phénomène résulte d'un défaut dans la chaîne d'acquisition du paramètre, défaut n'ayant aucune incidence sur les commandes et les qualités de vol de l'avion)

Cependant, l'événement a pu être retrouvé grâce aux autres paramètres, et la séquence suivante a pu être clairement déterminée :

Aux environs du passage des 3 000 pieds en montée (voir graphe 1), le pilote automatique a été activé au moment de la rentrée des volets. Cette rentrée a généré un moment piqueur provoquant ainsi une réaction du pilote automatique qui a contré ce moment en déroulant le trim à cabrer.

Durant le vol, il n'y a pas d'autre indice sur les données d'un déroulement du trim jusqu'au moment de la mise en palier à 6 000 pieds après la descente (voir graphe 2).

Cette mise en palier s'est effectuée avec le pilote automatique actif. Au moment où ce dernier a capturé l'altitude, le trim s'est mis à dérouler à cabrer pour maintenir une nouvelle assiette de palier. Ce mouvement du trim a, semble-t-il, perturbé l'équipage. Le commandant de bord a alors déconnecté le pilote automatique et a terminé le vol sans aucun problème.

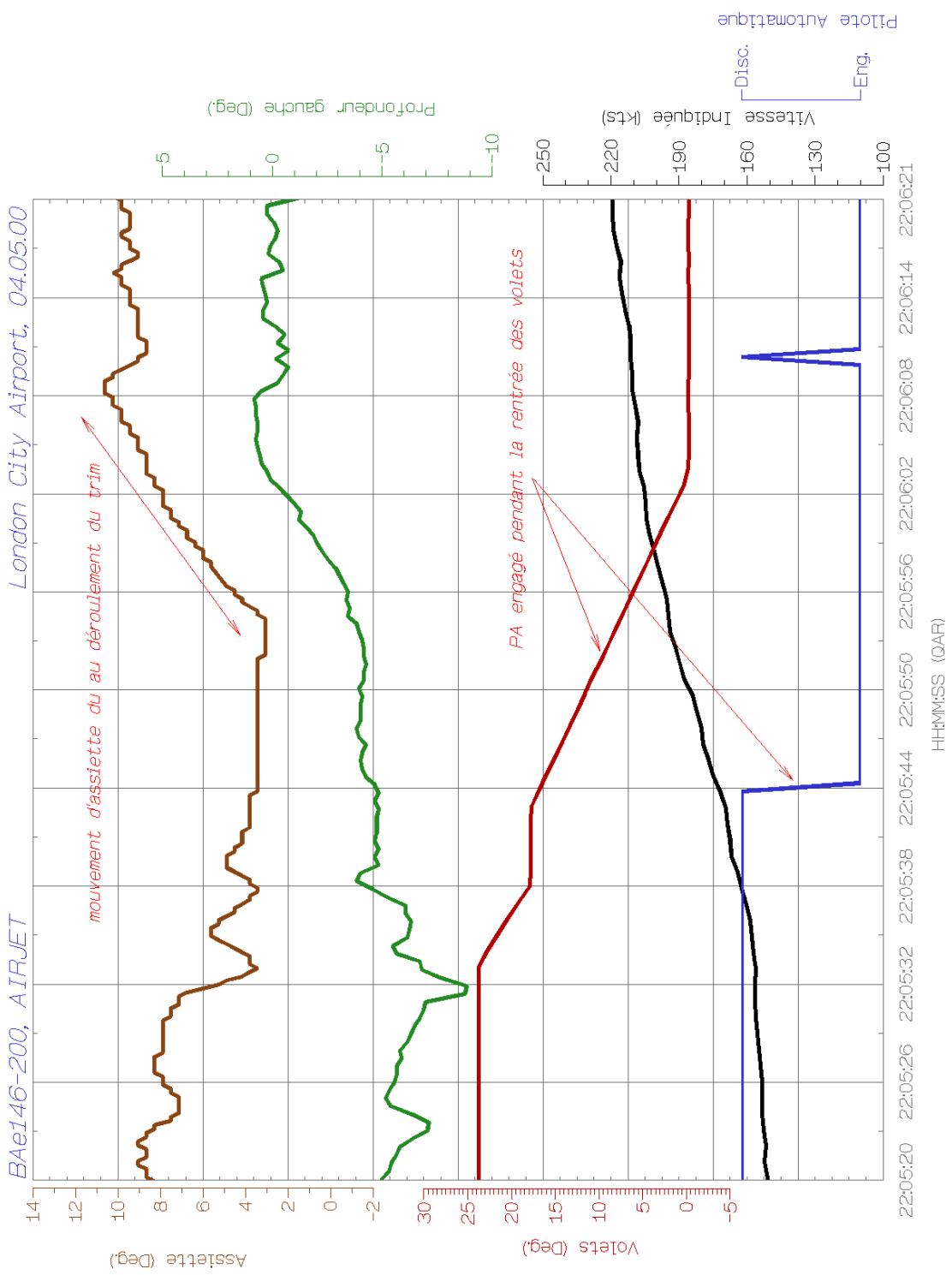
La chaîne du trim (AP Controller, AP Computer et Servo Actuator) avait été déposée. Elle a été remise en service après un test qui n'a pas fait apparaître de dysfonctionnements)

Conclusion

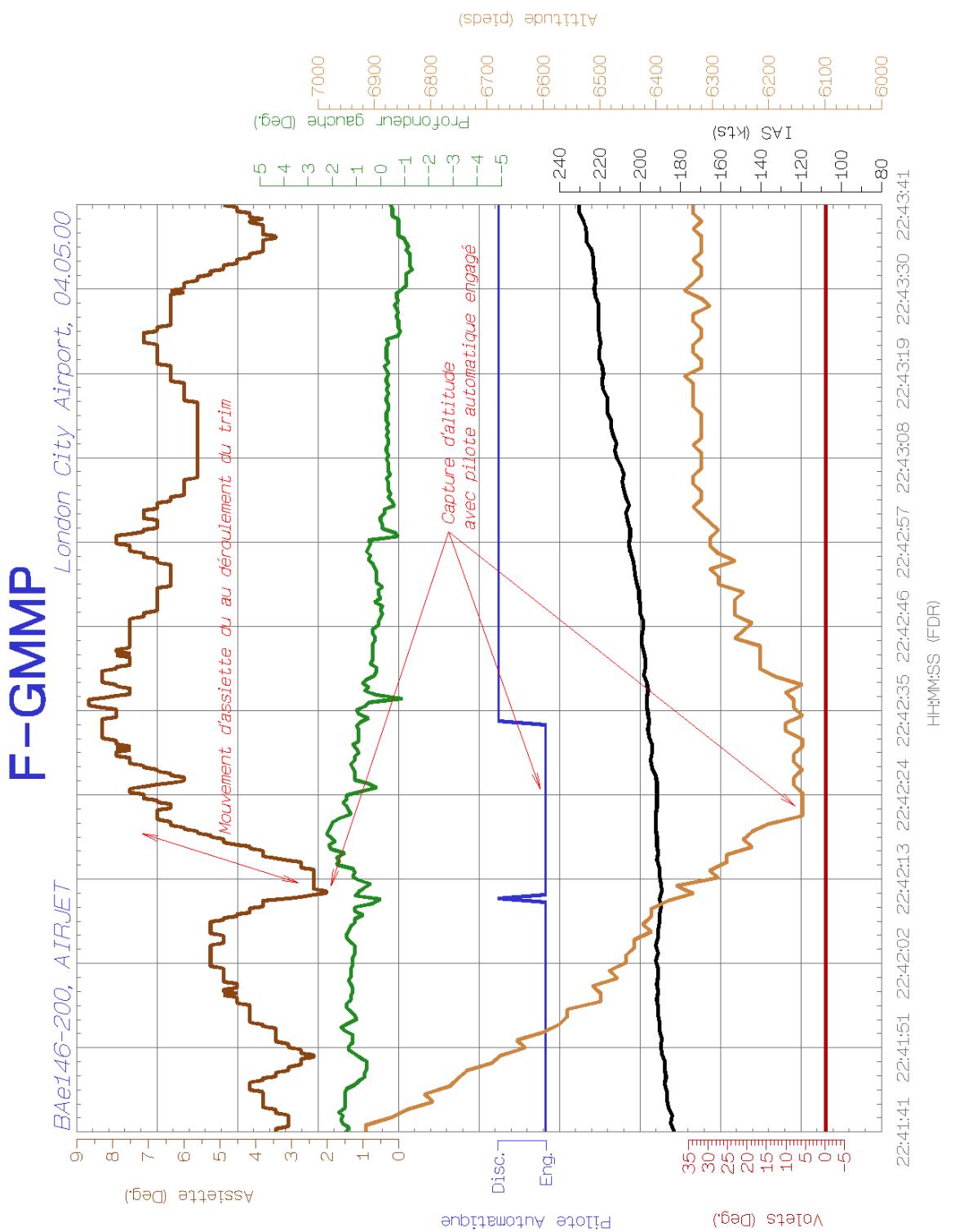
Les équipages de l'exploitant ont été sensibles aux déroulements de trim depuis l'événement du 23 août 1998 sur le F-GOMA. Ils ont été formés à une nouvelle procédure, instaurée à titre conservatoire, consistant à tirer le breaker du trim en cas de constat de déroulement.

L'événement du résulte d'une interprétation erronée d'un déroulement du trim à la rentrée des volets sous pilote automatique.

F-GMMF



Graphe 1 : 1er engagement du PA
8 Février 2001



Graph 2 : Approche
8 Février 2001

SCHEMA DESCRIPTIF DU SYSTEME DU TRIM ELECTRIQUE

